



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**SYSTÉM ŘAZENÍ ZÁVODNÍHO MOTOCYKLU**

RACING MOTORCYCLE SHIFTING SYSTEM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Adam Zapletal

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

**BRNO 2018**

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Adam Zapletal**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Michal Janoušek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Systém řazení závodního motocyklu**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Provést rešerši systémů řazení pod zatížením používaných u okruhových motocyklů. Provést posouzení vlivu řazení pod zatížením na čas dosažený závodním okruhu.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Popsat systémy řazení pod zatížením.

Zhodnotit možnosti nastavení systému řazení pod zatížením.

Zhodnotit vliv řazení pod zatížením na dosažený čas na závodním okruhu.

#### **Seznam doporučené literatury:**

FISHER, Robert, KUCUKAY, Ferit, JURGENS, Gunter,

NAJORK, Rolf a POLLAK, Burhard. The Automotive Transmission Book. 2015. Graz: Springer, 2015. ISBN 978-319052632.

COSSALTER, Vittore. Motorcycle dynamics. 2nd English ed. [S.l.: Lulu], 2006. ISBN 978-1-4303-0861-4.

SEGRS, Jorge. Analysis techniques for racecar data acquisition. Second Edition. Warrendale, Pa.: SAE International, 2014. ISBN 978-076-8064-599.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.


V Brně, dne 1. 11. 2017



L. S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu



---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá systémem řazení závodních motocyklů umožňujícím řazení pod zatížením. Cílem této práce je charakteristika systému řazení pod zatížením, dále pak zhodnocení možností nastavení tohoto zařízení a v neposlední řadě také posouzení jeho vlivu na dosažený čas na závodním okruhu. Práce je rozdělena do dvou na sebe navazujících oblastí. Teoretická část je určena k seznámení s principem fungování motocyklové převodovky a zařízení zvaného rychlořazení. Praktická část slouží k ověření teoretických informací na základě reálného měření a ke zhodnocení vlivu zařízení na dosažený čas na závodním okruhu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Motocyklová převodovka, rychlořazení, telemetrie, závodní motocykl, závodní okruh

## ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the system of gear shifting on a racing motorcycle. The aim of this thesis is to characterize the load-shifting system, to evaluate the possibilities of setting this equipment and, last but not least, to assess its impact on the achieved time on the race circuit. This thesis is divided into two interrelated parts. The theoretical part is designed to familiarize with the principle of the operation of a motorcycle gearbox and a device called quick shifter. The practical part serves to verify the theoretical information on the basis of real measurements and to evaluate the influence of the equipment on the achieved time on the race circuit.

## KEYWORDS

Motorcycle gearbox, quick shifter, telemetry, race bike, race circuit

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZAPLETAL, A. *Systém řazení závodního motocyklu*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Janouška, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2018

.....

Adam Zapletal

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval Ing. Michalu Janouškovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, podnětné rady a postřehy. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, která mi byla během psaní práce obrovskou oporou.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Cíl a metodika práce .....	10
2 Teoretická část.....	11
2.1 Motocyklová převodovka .....	11
2.1.1 Požadavky na konstrukci motocyklové převodovky .....	12
2.1.2 Princip manuálně ovládané motocyklové převodovky.....	12
2.1.3 Systém řazení rychlostních stupňů .....	13
2.1.4 Přeražení na vyšší rychlostní stupeň.....	14
2.2 Rychlořazení .....	14
2.2.1 Varianty zařízení .....	15
2.2.2 Prvky systému rychlořazení .....	16
2.2.3 Nastavení zařízení.....	18
2.2.4 Očekávaný přínos .....	19
3 Praktická část.....	20
3.1.1 Specifikace motocyklu .....	21
3.1.2 Závodní okruh .....	22
3.2 Měření.....	22
3.3 Vyhodnocení měření.....	23
3.3.1 Modelová zařazení s aktivním rychlořazením.....	24
3.3.2 Modelové zařazení bez rychlořazení .....	26
3.3.3 Mapka okruhu s místy řazení .....	27
3.3.4 Tabulka s daty.....	28
3.3.5 Dosažené časy na kolo.....	29
Závěr.....	30
Seznam použitých zdrojů .....	31
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	33



## ÚVOD

Při procházce boxové uličky kteréhokoliv závodního okruhu snad nenajdeme motocykl, který by neměl na táhle řadicí páky umístěno zařízení zvané rychlořazení (angl. quick-shift). Jedná se o drobnou součástku, jejíž použití na sportovním motocyklu se dnes stává naprostou samozřejmostí a mnozí výrobci ji dodávají už na sériových strojích.

Během průměrného závodu mistrovství světa silničních motocyklů přeřadí jezdci převodový stupeň přibližně pět set krát. Řazení se tak vedle výkonu motoru, pneumatik, nastavení podvozku a brzd stává dalším velice důležitým prvkem na cestě k úspěchu.

V rámci této bakalářské práce bude rozebrán princip fungování rychlořazení, dále pak možnosti nastavení zařízení, způsoby řešení od různých výrobců a v neposlední řadě skutečný vliv na dosažený čas na závodní trati.

# 1 CÍL A METODIKA PRÁCE

Práce si klade za cíl uceleně informovat čtenáře o dané problematice a prověřit skutečný přínos rychlořazení pro běžného uživatele. V úvodní části bude čtenář seznámen s principy funkce klasické bez-synchronní motocyklové převodovky a jejího ovládání. Dále bude objasněna funkce rychlořazení, jeho součásti a způsob, jakým má být dosaženo rychlejšího času na kolo na závodní trati.

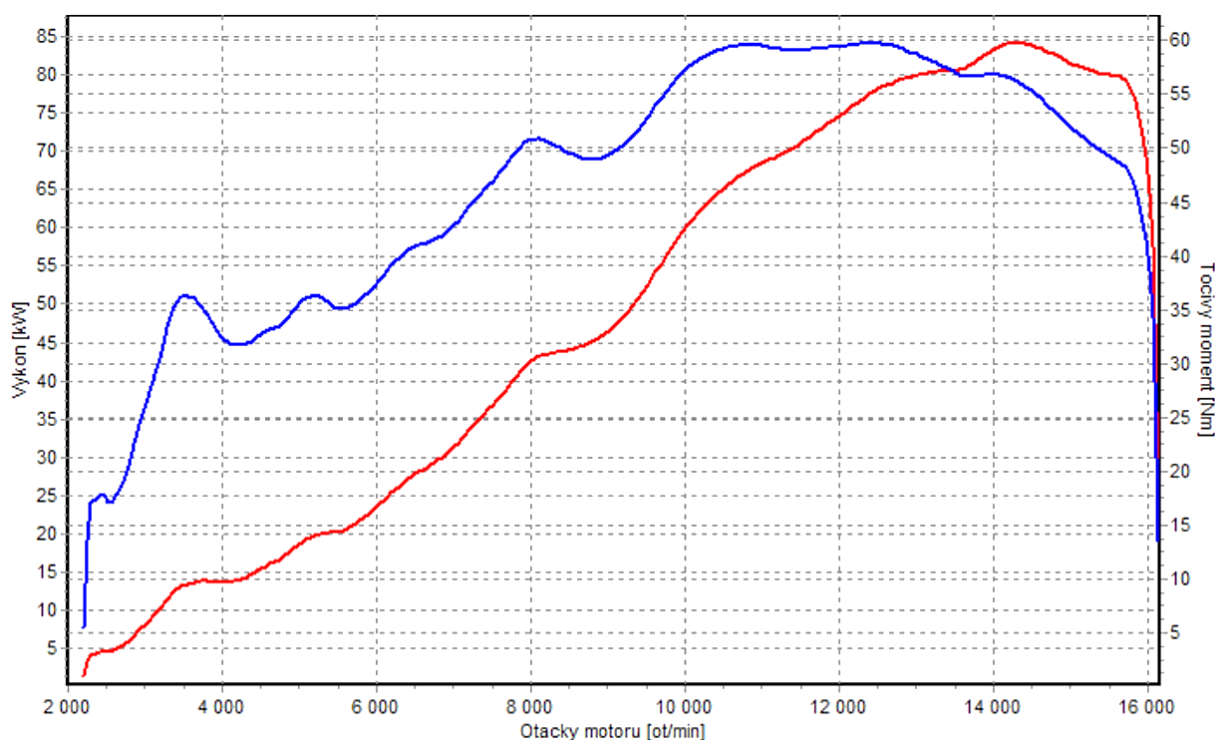
Nedílnou součástí práce je také praktická část, kde bude popsáno reálné měření, které se uskutečnilo na brněnském Masarykově okruhu. Následně proběhne vyhodnocení naměřených dat s aktivním rychlořazením a bez něj. Bude posouzen vliv rychlořazení na dosažený čas na kolo a na základě získaných výsledků stanoven závěr.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části budou postupně probrány principy motocyklové převodovky, zařízení zvaného rychlořazení a dále pak možnosti jeho nastavení.

### 2.1 MOTOCYKLOVÁ PŘEVODOVKA

Z charakteristiky průběhu kroutícího momentu běžného spalovacího motoru využívaného v současných motocyklech vyplývá nutnost změny převodové poměru během jízdy. Toto umožňuje poměrně sofistikované zařízení zvané převodovka. Pro motocykly obecně platí, že pohonná jednotka, včetně převodového ústrojí, jsou umístěny mezi koly. Propojení mezi převodovkou a zadním kolem obvykle zajišťují dvě ozubená kola – jedno na výstupní hřídeli z převodovky a druhé pevně spojené se zadním kolem, propojená pomocí řetězu. Alternativou k tomuto řešení je využití drážkovaného řemene, nebo kardanova hřídele [1].



Obr. 1: Vnější otáčková charakteristika motocyklového motoru [Převzato z 2]

**Motocyklové převodovky můžeme rozdělit do dvou velkých skupin:**

- manuálně ovládané převodovky,
- automatické převodovky [3, s. 334].

Automatické převodovky využívají při své činnosti poměrně odlišných principů a na poli sportovních motocyklů nejsou až na výjimky využívány. V této práci se tedy budeme věnovat pouze převodovkám manuálním.

### 2.1.1 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI MOTOCYKLOVÉ PŘEVODOVKY

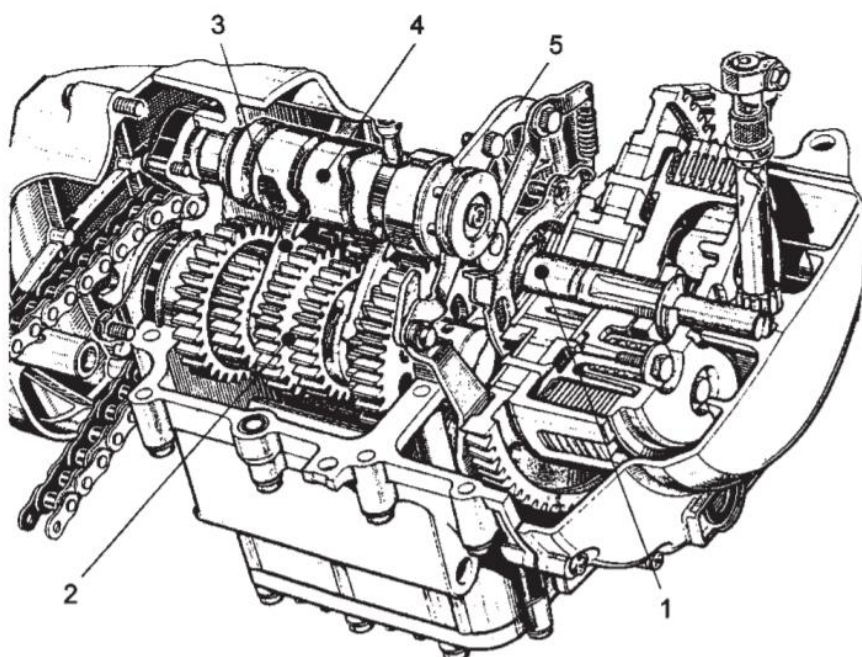
Mezi požadavky na konstrukci motocyklové převodovky patří:

- nízká hmotnost,
- malý moment setrvačnosti,
- kompaktnost,
- vysoká rychlost,
- relativně nízký kroutící moment [3, s. 334].

Z designu motocyklu vyplívá, že musí být možné umístit celou pohonnou jednotku, včetně převodovky, mezi nohy jezdce, proto je potřeba, aby převodovka nebyla příliš široká.

### 2.1.2 PRINCIP MANUÁLNĚ OVLÁDANÉ MOTOCYKLOVÉ PŘEVODOVKY

Obecně se používá konceptu dvou hřídelí s ozubenými koly, která jsou v podstatě vždy v kontaktu. Použití synchronizačních prvků by způsobilo snížení účinnosti, zvětšení rozměrů a zvýšení celkové hmotnosti převodovky. Na obrázku 2 je znázorněn řez typickou motocyklovou převodovkou spolu se spojkou. Na první pohled je zřetelná kompaktnost celé soustavy. Typický je také primární převod implementovaný mezi klikovou hřídelí a uložením spojky. Aby bylo tohoto docíleno, je jedna z vyvažovacích hmot klikové hřídele rozšířena na pastorek, který je v záběru s ozubeným kolem v uložení spojky, která bývá většinou v olejové lázni a skládá se z více lamel. Tento typ spojky je využíván také z důvodu nízkého celkového momentu setrvačnosti. Spojka je ovládána pomocí spojkové páčky na levém řídítku. Přítlačná síla je vytvářena pomocí pružin prakticky stejným způsobem, jako je tomu u běžné spojky používané v automobilech. K rozpojení spojky dojde přimáčknutím spojkové páčky k řídítku [4]. Propojení páčky a samotné spojky nejčastěji zajišťuje ocelové lanko, avšak v současné době výrobci stále častěji používají hydraulickou kapalinu.



Obr. 2: Převodovka s řadicím válečkem: 1 – hnací (vstupní) hřídel převodovky (zakrytý řadicím válečkem), 2 – hnáný (výstupní) hřídel převodovky, 3 – řadicí vidlice, 4 – řadicí váleček s vedením kulisy, 5 – ovládání řazení [Převzato ze 4, s. 121]

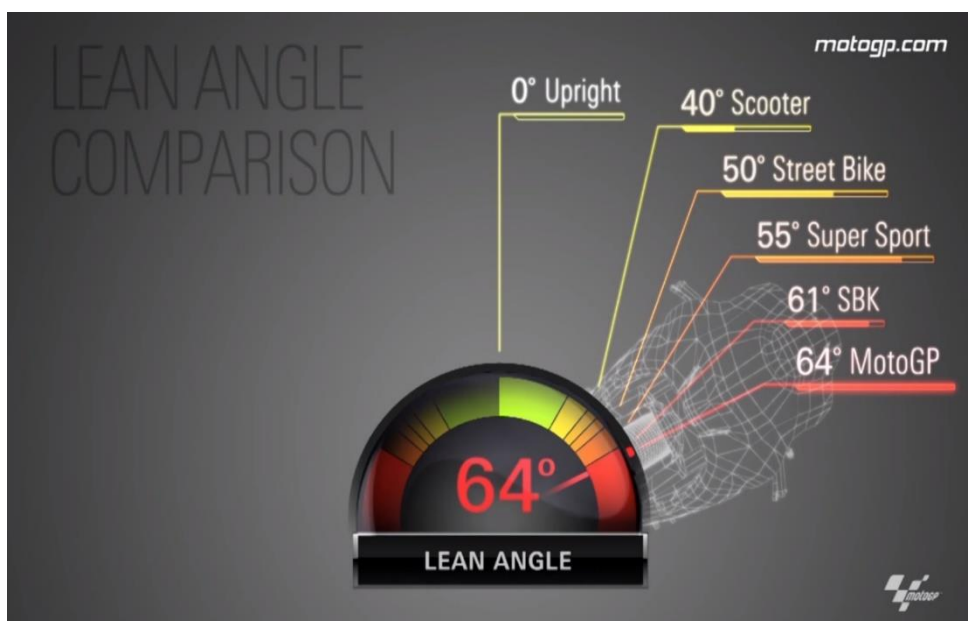
Samotné řazení rychlostních stupňů se nejčastěji provádí pomocí levého chodidla jezdce. K tomuto je určeno zařízení zvané řadicí automat. Řadicí automat má za úkol posuv řadicího válečku nebo kulisy přesně o vzdálenost odpovídající změně na následující rychlostní stupeň [4].

Rychlostní stupně jsou tedy řazeny postupně pomocí řadicího válečku, nebo posuvné či otočné ploché řadicí kulisy. Jejich drážky poté zajišťují pohyb řadicích vidlic. Ty jsou vedené na tuhé řadicí tyči tak, aby bylo znemožněno jejich přičení. Řadicí vidlice dále posouvají převodová kola po hřídelích do záběru. V záběru jsou tedy vždy jen dvě příslušná ozubená kola a ostatní se na hřídelích otáčejí volně.

### 2.1.3 SYSTÉM ŘAZENÍ RYCHLOSTNÍCH STUPŇŮ

Vycházíme z předpokladu, že je zařazen neutrál. „Sešlápnutím řadicí páky zařadíme 1. rychlostní stupeň. 1. rychlostní stupeň je vždy ten úplně dole. Špičkou nohy vytáhneme řadicí páku nahoru a hned nad 1. rychlostním stupněm je neutrál. Pokud chceme zařadit 2. rychlostní stupeň, musíme řadicí páku přetáhnout z 1. stupně jedním tahem přes polohu neutrálu. Všechny ostatní rychlostní stupně jsou nad 2. stupněm a řadíme je dalším vytahováním řadicí páky. Pokud páka již nejde povytáhnout nahoru, je zařazený nejvyšší rychlostní stupeň.“ [4]

Toto platí zpravidla pro všechny motocykly současnosti. V ryze závodním využití se často uplatňuje systém zcela opačný, tj. první rychlostní stupeň je řazen pohybem páky nahoru a další rychlostní stupně směrem dolů. Využití tohoto způsobu řazení je čistě na preferencích jezdce. Výhoda opačného řešení spočívá v lepším přístupu k řadicí páce v momentě, kdy je motocykl v náklonu na levou stranu ve směru jízdy a jezdec potřebuje přeradit na vyšší rychlostní stupeň. Nemusí tedy složitě hledat prostor v místě mezi vozovkou a stupačkou, aby mohl vložit špičku chodidla pod řadicí páku. V případě extrémních náklonů motocyklů (až 64° motocykly Mistrovství světa prototypů – MotoGP™) je prostor skutečně minimální.



Obr. 3: Porovnání dosahovaných náklonů motocyklů [Převzato z 5]

### 2.1.4 PŘEŘAZENÍ NA VYŠŠÍ RYCHLOSTNÍ STUPEŇ

Celý proces přeřazení na vyšší rychlostní stupeň tedy probíhá takto:

- uvolnění plynové rukojeti,
- vymáčknutí spojky,
- stlačení řadicí páky,
- uvolnění spojky,
- opětovné přidání plynu.

Tento proces je ale z časového hlediska poměrně náročný. Průměrný jezdec je schopen ho provést v řádu několika desetin sekundy. Pro běžný provoz je toto naprosto dostačující, v závodním využití mnohdy rozhodují o výsledku i tisíce sekundy, a proto bylo vynalezeno zařízení zvané „rychlořazení“ (angl. quick-shift)

## 2.2 RYCHLOŘAZENÍ

Průměrný jezdec, který se bude plně koncentrovat na řazení, je schopen celý proces přeřazení na vyšší rychlostní stupeň konvenční metodou, tj. bez aktivního zařízení, provést přibližně za 600 milisekund. Zkušený jezdec, který využije řazení bez použití spojky – tento proces je velice obtížný na správné načasování a jeho nezvládnutí může vést až k nenávratnému poškození převodovky, dokáže přeřadit za přibližně 300 milisekund. Pokud se bude tento jezdec snažit o dosažení co nejnižšího času na kolo na závodní trati, bude jeho pohyb značně omezen pozicí těla, a to zejména na výjezdech ze zatáček. Současně se bude muset koncentrovat na další úkon, který mu vedle držení ideální stopy, načasování přesného okamžiku brzdného bodu, správné chvíle otevírání plynu a sledování okolního provozu na trati, značně zkomplikuje jeho práci. Řešení tohoto komplikovaného problému tedy přináší rychlořazení [6].

Na trhu existuje několik typů rychlořazení, které ne všechny využívají stejných principů funkce, ačkoliv jejich hlavním úkolem je vždy snížení kroutícího momentu motoru k umožnění přeřazení na vyšší rychlostní stupeň bez vzniku poškození na převodovce motocyklu. Způsob, jakým je tohoto dosaženo, je nejčastěji přerušením zapalování či vstřikováním paliva. Nezřídka však výrobci zařízení využívají oba tyto způsoby současně [7].



Obr. 4: Funkční schéma rychlořazení [Vlastní zpracování]



Zařízení využívající pouze vyřazení zapalování je i pro laika snadno rozpoznatelné. Přerazení na vyšší rychlostní stupeň je totiž doprovázeno charakteristickým zvukovým projevem takzvaného „střílení do výfuku“. Tento poměrně silný zvuk vzniká, když palivo, které prošlo spalovacím prostorem bez zážehu zapalovací svíčkou, prohoří až ve výfukovém potrubí v momentě, kdy se do něho dostane palivo nové, již zažehnuté ve válci. Tento typ rychlořazení je poměrně efektivní, ale nemůžeme říci, že by byl efektivnější. Ruku v ruce s ním však jde i snížená životnost výfukového systému, zejména pak výfukové vaty, která díky rázům vzniklým v potrubí odchází daleko dříve než při využití metody odstavení vstřikování.



Obr. 5: Prohoření paliva ve výfuku [Převzato z 8]

### 2.2.1 VARIANTY ZAŘÍZENÍ

- Rychlořazení spolupracující s ECU
- Rychlořazení nezávislé na ECU

Verze spolupracující s ECU se skládá z mechanického snímače, nebo tenzometru spolu se samostatnou jednotkou rychlořazení. Jednotka odešle povel pro ECU, která pokud tuto funkci má, odstaví motor pomocí vyřazení vstřikování nebo zapalování.

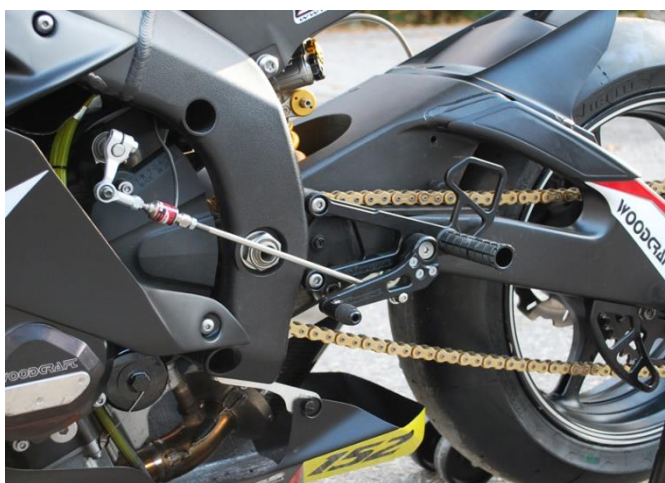
Verze, která s ECU nespolupracuje, se skládá taktéž z mechanického snímače a jednotky odpojování, která je připojená mezi ECU a vstřikovače paliva nebo zapalovací cívky a v momentě, kdy snímač vyšle signál, vyřadí je z provozu.

### 2.2.2 PRVKY SYSTÉMU RYCHLOŘAZENÍ

Jedná se o poměrně kompaktní a lehké zařízení. Jeho přítomnost na motocyklu tedy nemá žádný negativní důsledek jako je například zvýšení hmotnosti motocyklu, nebo zhoršení jeho jízdních vlastností. Celková hmotnost zařízení se pohybuje v řádech stovek gramů – např. Cordona PQ8 – 300 g [9].

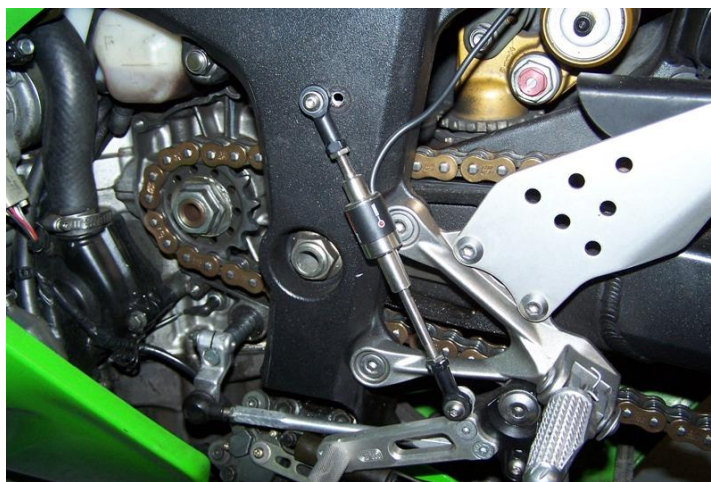
#### Snímač

Vstupní signál pro řídicí jednotku motocyklu, popřípadě jednotku rychlořazení, zajišťuje tenzometrický snímač. Ten bývá zpravidla umístěn na táhle řadicí páky, tj, mezi řadicím pedálem a vstupní hřídelí řadicího válečku v převodovce.



Obr. 6: Umístění snímače na táhle řazení [Převzato z 10]

V případě, kdy není možné tenzometrický snímač vložit přímo na táhlo, ať už z prostorových, konstrukčních nebo jiných důvodů (např. některé motocykly Ducati, Kawasaki) bývá motocykl opatřen dalším táhlem, jehož jeden konec je napevno uložen k některé z nepohyblivých částí motocyklu, jako je například rám, a jeho druhý konec bývá připevněn k řadicímu pedálu tak, aby zachytil jeho pohyb při řazení.



Obr. 7: Umístění snímače mimo táhlo řazení [Převzato z 7]



Snímače můžeme také rozdělit do dvou skupin a to na:

- tažné,
- tlačné.

Toto rozdělení přímo vychází z konstrukce stupaček motocyklu a na funkci rychlořazení nemá žádný vliv. Volba tažného nebo tlačného snímače také souvisí s řadicím schématem motocyklu. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.1.3 Systém řazení rychlostních stupňů, v ryze závodním využití motocyklu se může schéma otočit.



Obr. 8: Tenzometrické snímače [Převzato z 11]

V minulosti bylo také využíváno jednoduchého mikrospínače, který byl umístěn na řídítkách motocyklu tak, aby k němu měl jezdec snadný přístup. Po stisku tohoto tlačítka došlo obdobně jako u výše zmíněných tenzometrických snímačů k přerušení zapalování. Stejně jako způsob řazení bez spojky, tj. pouze ubráním plynu je tento systém náchylný na správné načasování a odvádí tak do značné míry jezdce pozornost. Tento typ byl využíván hlavně v závodním režimu tam, kde pravidla zakazovala použití snímače na řadicí páce a v běžném provozu nikdy nenašel široké uplatnění.



Obr. 9: Tlačítko mikrospínače na řídítku motocyklu [Převzato z 12]

### Kontrolka řazení

Řada výrobců rychlořazení nabízí ve svém portfoliu také takzvanou kontrolku řazení. Jedná se většinou o LED diodu, nebo skupinu LED diod ovládanou přímo z řídicí jednotky řazení, která při překročení určité hranice otáček motoru upozorní na tuto skutečnost jezdce pomocí poměrně silného světelného efektu. Toto zařízení stejně jako typ použitého tenzometrického snímače nemá žádný vliv na funkci rychlořazení, ale do jisté míry usnadňuje jezdcovi jeho práci. Ten se díky němu nemusí soustředit na přesnou hranici otáček, kdy by měl přejít na vyšší rychlostní stupeň, pomocí ne vždy dostatečně přehledného otáčkoměru (např. digitální otáčkoměry motocyklů Kawasaki). Zařízení se nejčastěji umísťuje přímo do kokpitu motocyklu tak, aby bylo v zorném poli jezdce. Kontrolka řazení je však často sériovou výbavou sportovních motocyklů. Správný okamžik řazení přímo závisí na výkonové křivce motoru [13, s. 123].



Obr. 10: Kontrolka řazení [Převzato z 14]

#### 2.2.3 NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

Pro správnou funkci zařízení je naprosto klíčové jeho správné nastavení. Jedná se zejména o správné předeptnutí táhla osazeného snímačem a nastavení doby řazení tj. odpojení vstříkovačů nebo zapalování.

Možnosti nastavení:

- předeptnutí táhla – ovládací síla řazení,
- doba přerušení zapalování.

V případě, že by byla síla potřebná k vydání impulzu příliš malá, mohla by řídicí jednotka zařízení, popřípadě motocyklu, dostávat od snímače signály samovolně, nebo v nevhodnou dobu vlivem vibrací motocyklu vznikajících při jízdě, náhodným dotykem jezdce s řadicí pákou atd. To by způsobilo chvilkové ztráty výkonu a kroutícího momentu dodávaných motorem.

Pokud by naopak byla vstupní síla příliš velká, docházelo by k poškození mechanismu řazení, jako jsou řadicí segment, kulisa řazení a v neposlední řadě také řadicí vidličky.

Současně je také potřeba zajistit správný čas, po který je zařízení přeruší dodávku výkonu a umožní tak hladké přeřazení. Zvolený čas záleží na převodovce a mechanice řazení. Obecně můžeme říci, že se doba odpojení pohybuje okolo 50 milisekund u motocyklů s klasickým řazením a 35 milisekund u motocyklů s pneumaticky ovládaným řazením (např. motocykly typu dragster) [15]. Premiové modely některých výrobců dovolují také měnit tuto dobu v závislosti na tom, který převodový stupeň má být zařazen.

Doporučené časy pro řazení z jednotlivých stupňů na vyšší uvádí na svých webových stránkách výrobce Shifting Controll takto:

Tab. 1: Doporučené časy odpojení [Upraveno dle 16]

ZMĚNA	DOPORUČENÝ ČAS ODPOJENÍ
1 → 2	60 ms
2 → 3	56 ms
3 → 4	52 ms
4 → 5	50 ms
5 → 6	48 ms

Příliš krátká doba vypnutí motoru má za následek nedořazení rychlostního stupně naproti tomu dlouhá prodleva způsobuje znatelné škubnutí motocyklem při přeřazení a vyšší časové ztráty [16].

#### 2.2.4 OČEKÁVANÝ PŘÍNOS

Výrobci zařízení uvádějí na svých webových stránkách různé více či méně reálné předpokládané přínosy na dosažený čas na závodní trati. Jejich hodnoty se však různí někdy i dvojnásobně. Proto bylo navrženo provést vlastní měření. Nejvíce reálným se jeví hodnoty výrobce Cordona, který na svých webových stránkách uvádí přínos 0,2 sekundy při sprintu motocyklu na ¼ míle tj. přibližně 402 metrů a 1,5 sekundy na kolo na závodním okruhu [9].

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

K ověření teoretických informací obsažených v první části této bakalářské práce a ke stanovení určitého závěru bylo navrženo provedení skutečného experimentu na závodním motocyklu opatřeném příslušným „rychlořazením“ a také dostatečně kvalitním datalogerem. Důležitým předpokladem pro určení závěru bylo také, aby během měření panovaly co možná nejvíce shodné okolní podmínky.

Jedním z nejdůležitějších aspektů ovlivňujících legitimnost výsledků je bohužel lidský faktor. Odhadovaný přínos zařízení je v řádech setin až desetin sekundy, a proto bylo dbáno na výběr kvalitního testovacího pilota. Byla tedy navázána spolupráce s panem Martinem Holoubkem, který je stálým účastníkem Mistrovství České republiky přírodních okruhů a současně také instruktorem jedné z našich nejvyšších okruhových škol agentury Dafit moto racing team. Pro měření byl vybrán motocykl Yamaha YZF-R6 (rok výroby 2010) přestavěný pro závodní účely zapůjčený panem Markem Borovičkou.



Obr. 11: Testovací motocykl Yamaha YZF-R6 [Převzato z 17, s. 47]

### 3.1.1 SPECIFIKACE MOTOCYKLU

#### „Motor:

- kapalinou chlazený, čtyřtaktní, DOHC, řadový čtyřválec s náklonem dopředu, 16-ti ventilový rozvod motoru,
- zdvihový objem  $599 \text{ cm}^3$ ,
- vrtání x zdvih =  $67,0 \text{ mm} \times 42,5 \text{ mm}$ ,
- kompresní poměr =  $1 : 13,1$ ,
- udávaný maximální výkon  $91 \text{ kW}$  při  $14500 \text{ min}^{-1}$ ,
- udávaný točivý moment  $65,7 \text{ Nm}$  při  $10500 \text{ min}^{-1}$ ,
- mazání trochoidním olejovým čerpadlem,
- mokrá vícelamelová spojka s funkcí antihopping,
- elektronické vstřikování paliva ( $4 + 4$  vstřikovače),
- elektronické zapalování,
- převodovka se stálým záběrem a 6-ti převodovými stupni,
- variabilní délka sacích hrdel YCC-i,
- elektronické ovládaní „ride-by-wire“ YCC-t. “ [17, s. 45-46]

#### „Podvozek

- tlakově odlitý hliníkový rám „Deltabox“,
- přední vidlice typu USD (Up-side-down) - zdvih  $115 \text{ mm}$ ,  $\varnothing 41 \text{ mm}$ , úhel sklonu  $24^\circ$ ,
- zadní odpružení typu „monoshock“ s kyvnou vidlicí a zdvihem  $120 \text{ mm}$ ,
- rozměr přední pneumatika  $120/70 \text{ R17}$ , zadní  $180/55 \text{ R17}$ ,
- přední brzdový systém s radiální pumpou a dvěma kotouči ( $\varnothing 310 \text{ mm}$ ) se čtyřpístkovými pevnými třmeny; zadní brzdový kotouč ( $\varnothing 220 \text{ mm}$ ),
- hmotnost včetně náplní:  $189 \text{ kg}$  (Yamaha, 2009). “ [17, s. 46]

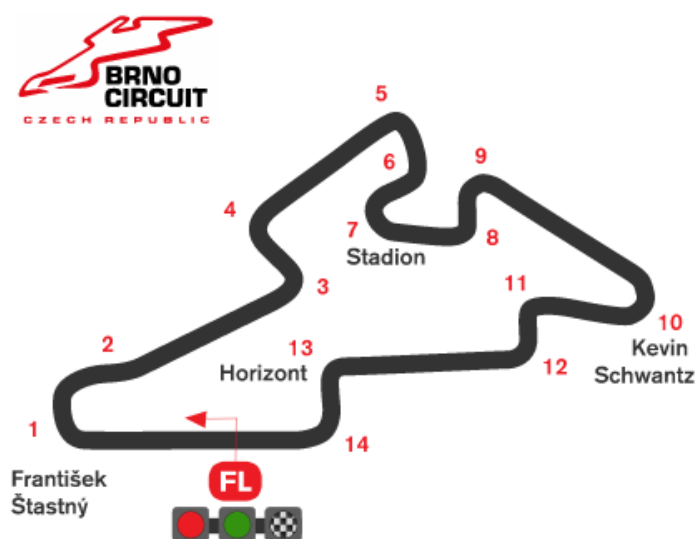
#### „Příslušenství (úpravy)

- otevřený sportovní titanový výfukový systém LeoVince s absorpčním tlumičem,
- vzduchový filtr BMC,
- sportovní kabelový svazek s laditelnou řídicí jednotkou YEC,
- **snímač rychlořazení Dynojet**,
- sportovní chladič vody Febur,
- změna koncového převodu,
- display a měřič času kol AIM MXL Strada se snímači zdvihu podvozku, lambda controllerem Innovate Motorsports LCU-1 a širokopásmovou lambda sondou Bosch,
- laminátové kapoty Motoforza,
- tlumič řízení Harness. “ [17, s. 47]



### 3.1.2 ZÁVODNÍ OKRUH

Měření probíhalo dne 2. 9. 2016 na Automotodromu Brno v rámci okruhových dnů agentury Dafit Filla racing agency. Brněnský Automotodrom byl vybrán i s ohledem na dostupnost jako ideální modelový okruh. Jedná se o trať patřící mezi světovou špičku jak z hlediska bezpečnosti, tak oblíbenosti mezi samotnými jezdci. Dráha měří 5403 m a v celé své délce má šířku 15 m. Skládá se z celkem 14 - ti zatáček (6 levých a 8 pravých). Nejdelší přímý úsek měří 636 m. Trať je poměrně členitá. Výškový rozdíl činí téměř 74 m. Oficiální rekord s motocyklem do 600 ccm drží v současnosti Esteve Rabat na motocyklu kategorie Moto2 s hodnotou 2:02,383. Traťový rekord s motocyklem kategorie SuperStock 600, který se svými specifikacemi více blíží testovacímu motocyklu, drží Patrik Vostárek z roku 2008 s motocyklem Honda CBR-600RR časem 2:06,493 [18].



Obr. 12: Mapka okruhu [Převzato z 19]

## 3.2 MĚŘENÍ

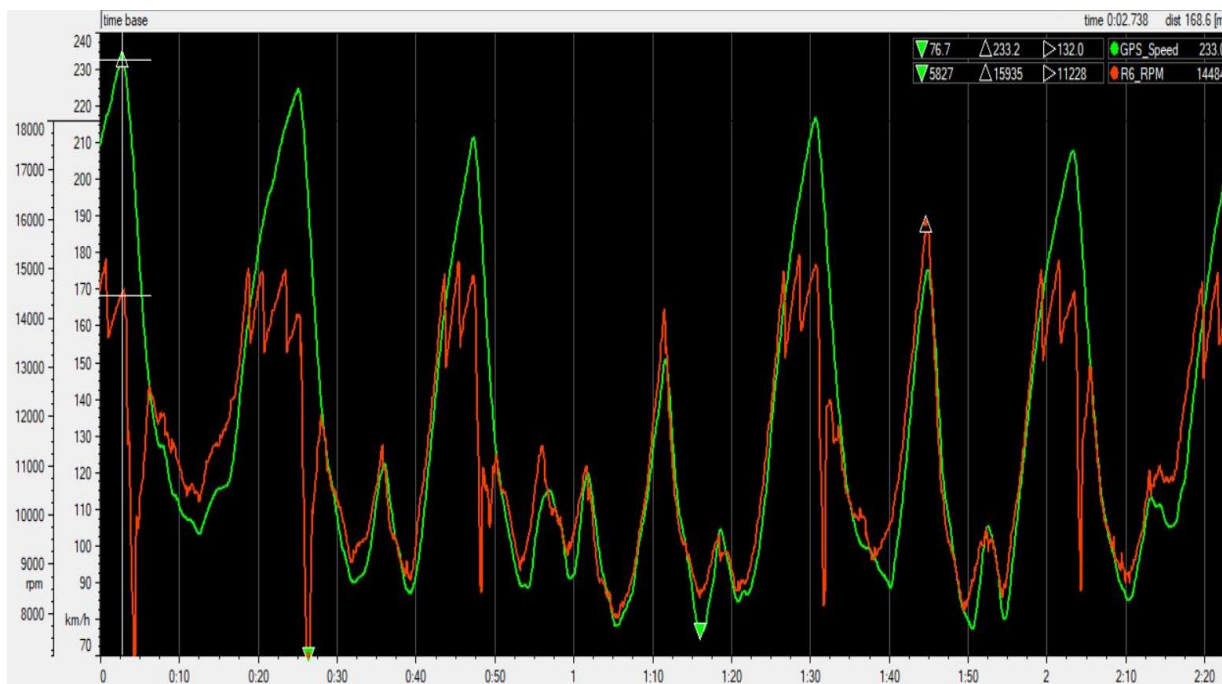
Motocykl objel dvě po sobě jdoucí kola s aktivním systémem rychlořazení, kdy jezdec nepoužíval k řazení vyšších rychlostních stupňů spojku. Následně pak objel další dvě kola, ve kterých spojku pro řazení používal a řadil tedy konvenčně, stejně, jako by motocykl nebyl systémem rychlořazení osazen. Během těchto čtyř kol byla data z řídicí jednotky zaznamenávána pomocí telemetrie AiM MXL Strada. Měřeno bylo celkem 25 veličin, z nichž byly pro experiment stěžejní otáčky motoru [min-1] a rychlost motocyklu [km.h-1]. Měření otáček motoru bylo provedeno s frekvencí 100 Hz, aby bylo možné z grafů odečítat hodnoty s přesností 0,01 sekundy.



Obr. 13: Motocykl před měřením [Vlastní zpracování]

### 3.3 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Data byla následně stažena do PC pomocí konektoru USB. K vyhodnocování naměřených dat byl využit program AiM Race Studio Analysis. Naměřená data byla poté exportována do tabulky programu Microsoft Office Excel a uložena.



Obr. 14: Otáčky motoru a rychlost na jedno kolo [Vlastní zpracování]

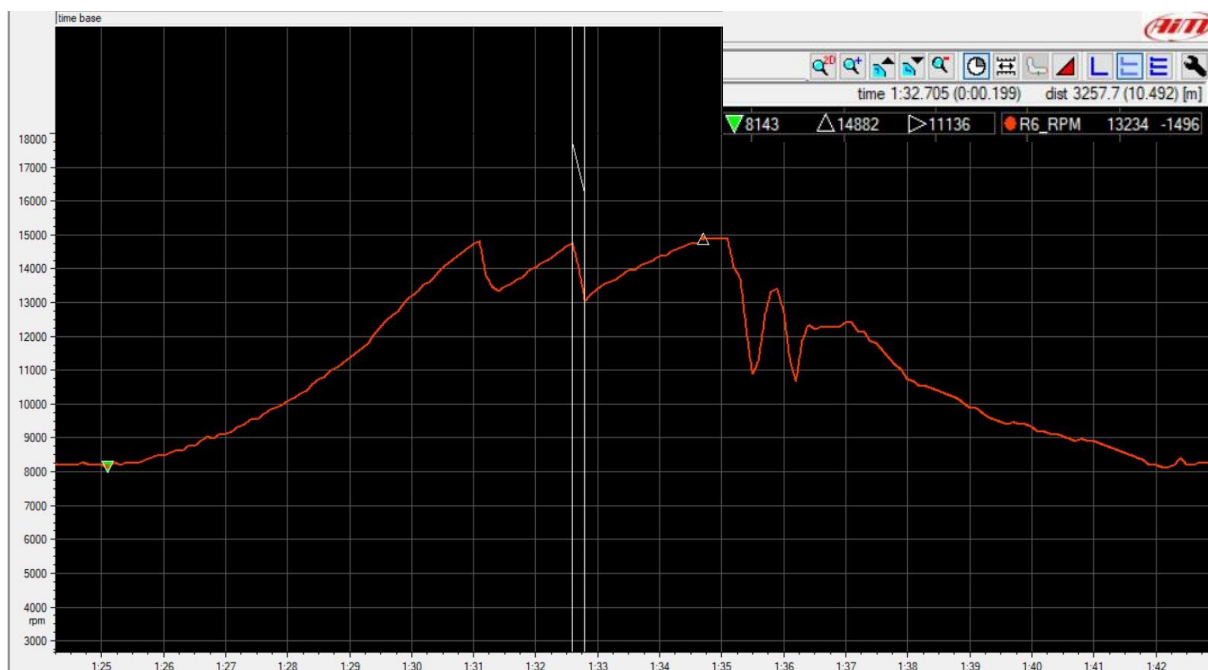
Obrázek 14 vykresluje data z jednoho z měřených kol. Na ose x je vynesena čas v minutách a sekundách. Na ose y jsou vyneseny hodnoty otáček motoru [ $\text{min}^{-1}$ ] (oranžová) a rychlost motocyklu [ $\text{km.h}^{-1}$ ] podle GPS modulu (zelená).

Pro celkové zpřehlednění naměřených dat bylo vybráno celkem šest modelových přeřazení s ohledem na proměnlivou dobu řazení. Nejprve s aktivním rychlořazením a poté klasickou metodou čili bez rychlořazení. Ze všech naměřených hodnot byly vybrány pouze otáčky motoru, které přímo ukazují čas potřebný k přeřazení a vykreslený v závislosti na čase. Čas potřebný k přeřazení byl poté vždy odečten z hodnot lokálního maxima a lokálního minima funkce otáček motoru. V případě lokálního maxima se jedná o bod nejvyšších dosažených otáček motoru při jednom konkrétním řazení, a tedy o bod, kdy rychlořazení vyřadí z činnosti zapalování. Vykreslené lokální minimum je naopak bod, kdy se vrací zapalování zpět do činnosti a hodnota otáček motoru opět začíná stoupat. Odečtené hodnoty byly dále zaznamenány k dalšímu vyhodnocení do tabulky v kapitole 3.3.4 Tabulka s daty.

Další možností, jak získat časový údaj o době potřebné k přeřazení, je odečíst jej z grafu závislosti podélného zrychlení na čase. Zaznamenávání této veličiny však probíhalo s frekvencí pouze 10 Hz, což nebylo dostačující, a proto byla zvolena technika popsaná výše, tj. odečet času z grafu otáček motoru v závislosti na čase [13, s. 130].

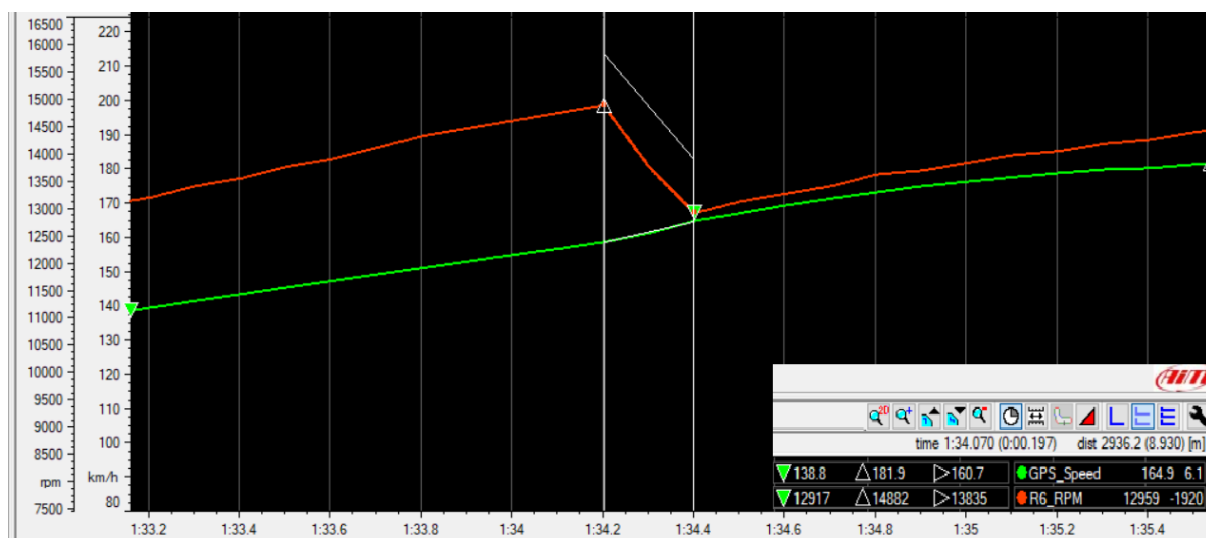
### 3.3.1 MODELOVÁ ZAŘAZENÍ S AKTIVNÍM RYCHLOŘAZENÍM

V grafech vždy je znázorněna hodnota otáček motoru [ $\text{min}^{-1}$ ] v závislosti na čase [min]. Jedná se o tři modelová přeřazení. Čas potřebný k přeřazení v těchto třech konkrétních případech byl postupně 0,199 sekundy, 0,197 sekundy a 0,204 sekundy.

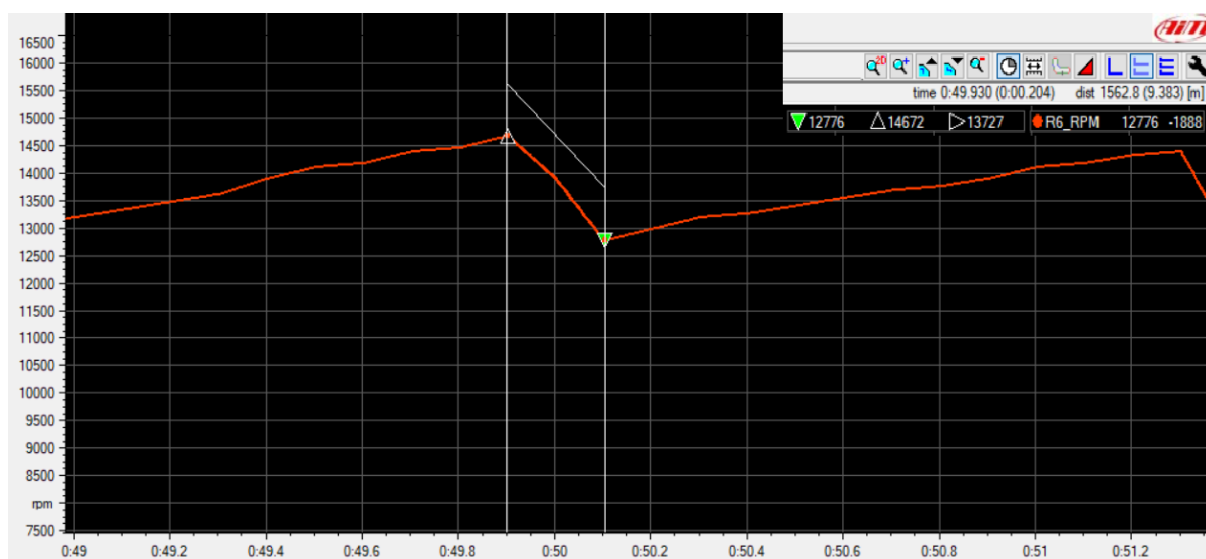


Obr. 15: Vybrané první řazení s aktivním QS (0.199 s) [Vlastní zpracování]





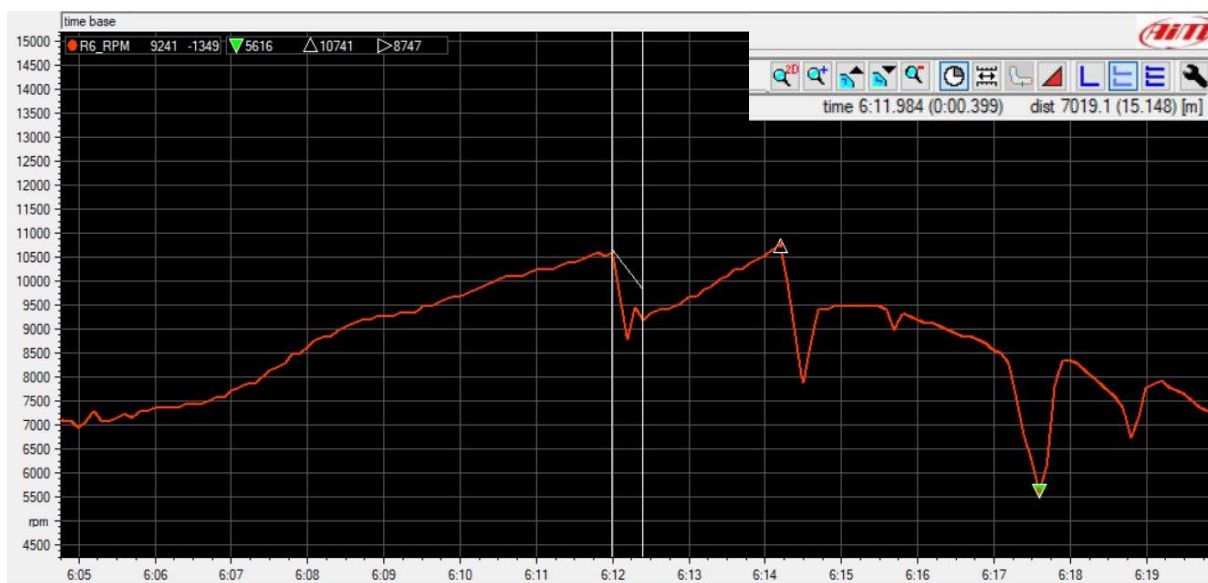
Obr. 16: Vybrané druhé řazení s aktivním QS včetně rychlosti (0.197 s) [Vlastní zpracování]



Obr. 17: Vybrané třetí řazení s aktivním QS (0.204 s) [Vlastní zpracování]

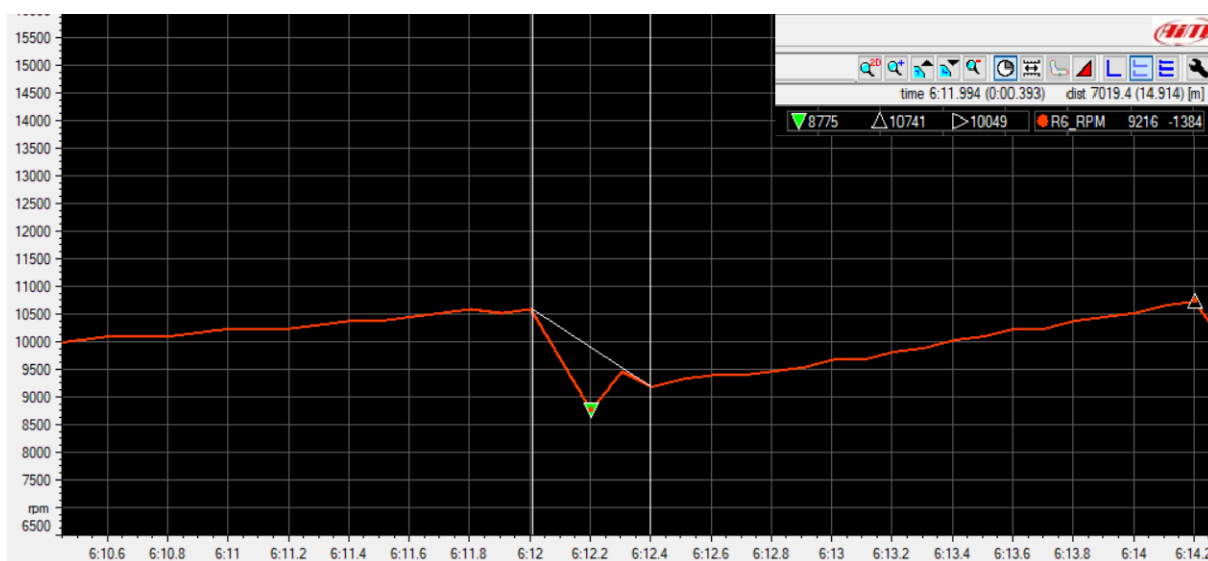
### 3.3.2 MODELOVÉ ZAŘAZENÍ BEZ RYCHLOŘAZENÍ

V grafech je opět znázorněna hodnota otáček motoru [ $\text{min}^{-1}$ ] v závislosti na čase [min]. Tentokrát je ale rychlořazení mimo provoz. Patrný je rozdílný průběh hodnoty otáček motoru. Moment, kdy jezdec začíná opět přidávat plyn, ale nemá plně uvolněnou spojku, je zřetelný a vykreslený mírným nárůstem otáček motoru. V tomto okamžiku už je motor opět v tahu, není ale spojen s poháněným zadním kolem motocyklu. Proto je tento okamžik zahrnut do časového úseku potřebného k přeřazení. Cyklus řazení na vyšší rychlostní stupeň tedy vyžaduje 0,399 s.

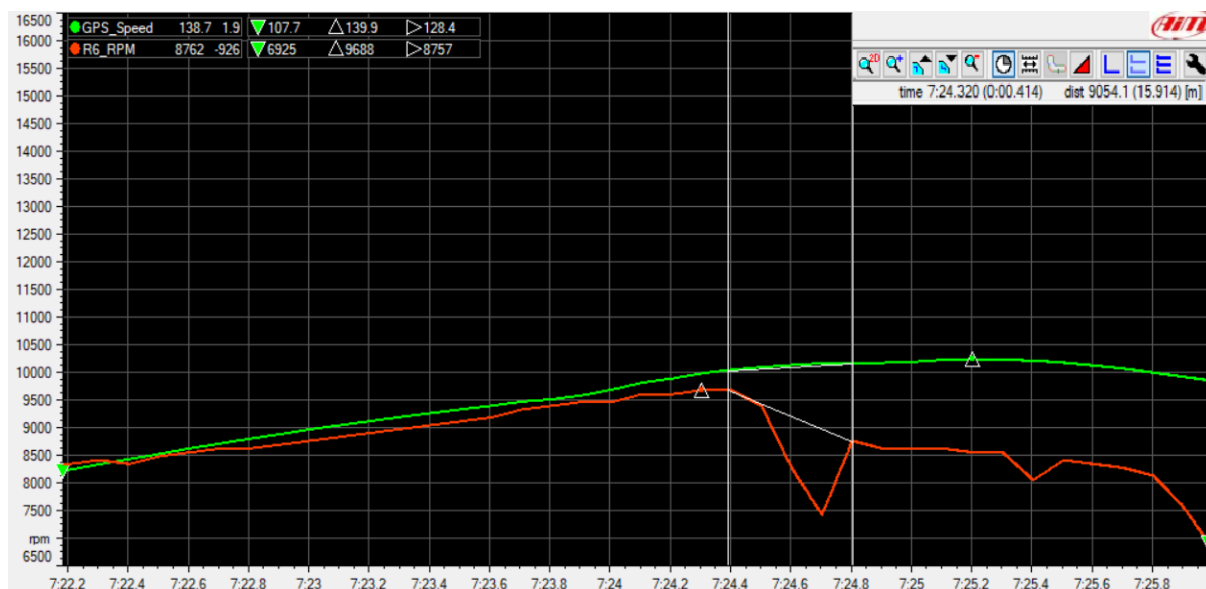


Obr. 18: Vybrané první řazení bez aktivního QS (0.399 s) [Vlastní zpracování]

Obdobnou metodou byl zjištěn potřebný čas k řazení i u následujících dvou grafů.



Obr. 19: Vybrané druhé řazení bez aktivního QS (0.393 s) [Vlastní zpracování]

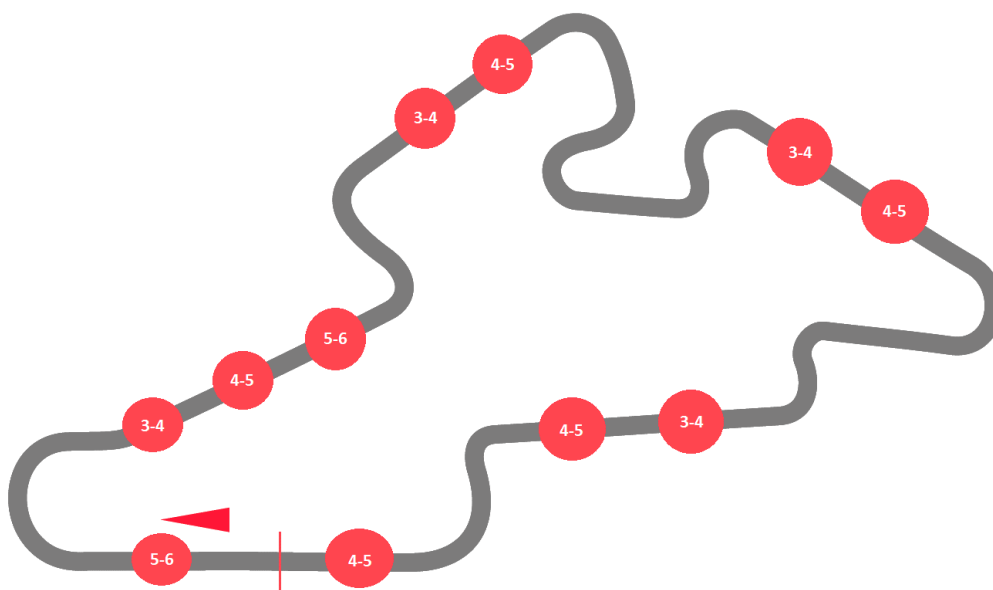


Obr. 20: Vybrané třetí řazení bez aktivního QS včetně rychlosti (0.414 s) [Vlastní zpracování]

Výsledné časy těchto tří vybraných řazení tedy jsou 0,399 sekundy, 0,393 sekundy a 0,414 sekundy.

### 3.3.3 MAPKA OKRUHU S MÍSTY ŘAZENÍ

Pro lepší představu byla vytvořena tato mapa okruhu, kde jsou přibližně vyznačena místa řazení na vyšší rychlostní stupeň. Červená úsečka přes profil tratě znázorňuje prostor startu a cíle, tedy místo ukončení jednoho měřeného kola a zároveň začátek kola nového. Červený trojúhelník značí směr jízdy.



Obr. 21: Mapka okruhu s místy řazení [Upraveno dle 20]

### 3.3.4 TABULKA S DATY

Data pro tabulku 2 byla odečtena z grafů v programu AiM Race Studio Analysis obdobně jako v kapitole 3.3.1 Modelová zařazení s aktivním rychlořazením a 3.3.2 Modelová zařazení bez rychlořazení. Dále byl vypočten aritmetický průměr hodnot jak z měření s aktivním rychlořazením, tak bez něho. Průměrná doba řazení s rychlořazením tedy činí 0,203 sekundy a naopak bez aktivního rychlořazení 0,426 sekundy. Jejich rozdíl byl jednoduchým výpočtem stanoven na **0,223** sekundy. Za zmínku stojí také hodnota nejdelšího řazení 0,52 sekundy (žlutě zvýrazněná hodnota v tabulce č. 2) a hodnota nejnižší a to 0,18 sekundy. Dle jezdcových slov byl okamžik nejdelšího řazení způsoben okolním provozem na trati a sám na něj po měření upozornil, a proto byl tento čas řazení z výpočtů vyřazen. Nejdelším řazením je tedy to s hodnotou 0,49 sekundy.

Tab. 2: Data získaná měřením na Masarykově okruhu [Vlastní zpracování]

Pozice na trati	Řazení č.	Změna	Aktivní QS		Neaktivní QS	
			Kolo 1	Kolo 2	Kolo 3	Kolo 4
			Doba řazení [s]	Doba řazení [s]	Doba řazení [s]	Doba řazení [s]
Do první zatáčky	1	5 → 6	0,22	0,2	0,4	0,42
Příjezd k tribuně A	2	3 → 4	0,2	0,21	0,42	0,45
	3	4 → 5	0,19	0,2	0,4	0,39
	4	5 → 6	0,22	0,23	0,39	0,49
Příjezd k tribuně B	5	3 → 4	0,21	0,18	0,45	0,42
	6	4 → 5	0,2	0,2	0,48	0,52*
Sjezd do Schwanz. zat.	7	3 → 4	0,18	0,19	0,4	0,41
	8	4 → 5	0,22	0,21	0,42	0,4
Výjezd na horizont	9	3 → 4	0,19	0,22	0,38	0,39
	10	4 → 5	0,2	0,19	0,45	0,48
Na start	11	4 → 5	0,2	0,2	0,47	0,44
Dosažený čas			2:27.871	2:26.597	2:28.718	2:29.566

Průměrná hodnota	<b>0,203</b>	Průměrná hodnota	<b>0,426</b>
Nejnižší hodnota	0,18	Nejnižší hodnota	0,38
Nejvyšší hodnota	0,23	Nejvyšší hodnota	0,49

### 3.3.5 DOSAŽENÉ ČASY NA KOLO

Pro posouzení relevantnosti měření je potřeba také uvést tabulku, která obsahuje hodnoty dosažených časů na kolo. Bohužel nebyl jezdec dostatečně konstantní a jeho tempo se do značné míry v průběhu měření měnilo. Tato skutečnost je zapříčiněna řadou okolních vlivů, jako byl například provoz na trati a také nedostatečná výkonnost a konzistence jezdce.

Tab. 3: Dosažené časy na kolo [Vlastní zpracování]

3/ 1	00.34.060		
3/ 2	02.42.121		02.42.121
3/ 3	02.32.477		02.32.477
3/ 4	02.31.569		02.31.569
3/ 5	02.31.109		02.31.109
3/ 6	02.34.099		02.34.099
3/ 7	02.28.718		02.28.718
3/ 8	02.29.566		02.29.566
3/ 9	02.27.871		02.27.871
<b>3/ 10 (best)</b>	<b>02.26.597</b>		02.26.597
3/ 11	03.52.198		03.52.198

Je patrné, že rozptyl časů je několikanásobně vyšší než předpokládaný přínos zařízení. Nejlepší dosažený čas s hodnotou 2:26:597 se od nejhoršího 2:34:477 o přibližně 8 sekund. První měřené kolo bylo pro jeho příliš vysokou hodnotu z tohoto závěru vyřazeno.

Při výběru pilota bylo dbáno na jeho předpokládané kvality, bohužel jim však nedostál a od traťového rekordu ho tak dělilo přibližně 20 sekund, což je na závodní trati obrovský rozdíl. Na druhou stranu však výsledné časy věrně kopírují možnosti běžných uživatelů rychlořazení, kteří se právě s nekonzistencí svých dosažených časů často potýkají, a může tak být zhodnocen skutečný přínos právě pro ně.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce si kladla za cíl provedení rešerše systémů řazení pod zatížením používaných u okruhových motocyklů a dále pak posouzení jejich vlivu na dosažený čas na závodním okruhu.

Prvotním impulzem pro volbu tématu této práce byl fakt, že daná problematika především pro motocykly, není dostatečně zpracována v odborné literatuře. Rychlořazení je hojně využívané zařízení, je jím osazena drtivá většina závodních motocyklů. Jeho skutečný přínos na dosažený čas na jedno kolo však není jeho uživatelům převážně hobby závodníkům známý a bývá předmětem diskuzí. Dalším důvodem byly i značně rozporné předpokládané přínosy zařízení uváděné jeho výrobcí.

Při praktickém měření na závodním okruhu bylo zjištěno, že skutečný čas ušetřený jedním řazením za použití rychlořazení je přibližně 0,2 sekundy. Bohužel přímé srovnání časů dosažených na jedno kolo s aktivním rychlořazením a bez něj nepřineslo relevantní výsledky. I přes maximální snahu o zajištění stejných podmínek měření vstoupil do výsledků značnou měrou lidský faktor a testovací pilot nebyl schopen natolik udržet konstantní tempo, aby se projevilo přínos zařízení. Předpokládaný rozdíl dosažených časů byl přibližně 2,2 sekundy. Zaznamenané časy se však liší i o 8 sekund.

Ušetřený čas řazení však není jedinou výhodou použití rychlořazení. Dalším důležitým přínosem zařízení je i usnadnění poměrně komplikované práce jezdce, kdy při použití rychlořazení není pro řazení na vyšší rychlostní stupeň vyžadováno tolik jeho pozornosti, jako při řazení konvenční metodou.

Rychlořazení tedy nachází své uplatnění a jeho využití je opodstatněné, což dokazuje i v současnosti stále častější použití zařízení už na sériových motocyklech u značné řady výrobců.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Technika motocyklu - 10. část - převody. Motorkáři.cz [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-10.-cast-prevody-3498.html>
- [2] BOROVIČKA, M. Elektronicky řízené systémy motocyklů. Brno, 2014, 46 s. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.
- [3] FISHER, R., KUCUKAY, F., JURGENS, G., NAJORK, R. a POLLAK, B. The Automotive Transmission Book. Graz: Springer, 2015. ISBN 978-319052632.
- [4] VLK, F. PŘEVODNÉ ÚSTROJÍ MOTOCYKLŮ. SOUDNÍ INŽENÝRSTVÍ [online]. Brno, 2005, 16(2), 109-123 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-02-109-123.pdf>
- [5] MotoGPTM Lean Angle Experience. In: Youtube [online]. 27. 9. 2013 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=J73XRDGPcpE>. Kanál uživatele MotoGP.
- [6] POOVEY, B. Ask RideApart: How Do Motorcycle Quick Shifters Work?. RideApart.com [online]. 14. 2. 2014 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://rideapart.com/articles/how-do-motorcycle-quick-shifters-work>
- [7] How Does a Quick Shifter work in a motorcycle. Stack Exchange [online]. 28. 6. 2016 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://mechanics.stackexchange.com/questions/32194/how-does-a-quick-shifter-work-in-a-motorcycle>
- [8] CBR1000rr HM GP Quickshifter – through the box. In: Youtube [online]. 15. 11. 2013 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=U3mZmGoUx2E>. Kanál uživatele BaronVonGrumble.
- [9] Cordona Quickshifter PQ8. Cordona Quickshifters [online]. 2017 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: [https://www.cordona.net/products/precision-quickshifter-8-\(pq8\)-35687037](https://www.cordona.net/products/precision-quickshifter-8-(pq8)-35687037)
- [10] Yamaha R6 Rearset - GP Shift w/Shift Pedal. Woodcraft Technologies [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.woodcraft-cfm.com/cgi-bin/commerce.cgi?preadd=action&key=05-0449>
- [11] Snímače rychlořazení. Shifting ContRoll [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.qs.vyrobce.cz/snimace.html>
- [12] Spam - Quick shifter, button style.... In: ApriliaForum sponsored by AF1 Racing, inc. [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.apriliaforum.com/forums/showthread.php?121183-Spam-Quick-shifter-button-style>
- [13] SEGERS, Jorge. Analysis techniques for racecar data acquisition. Second Edition. Warrendale, Pa.: SAE International, 2014. ISBN 978-076-8064-599.

- [14] Batwing Shiftlight | Cordona Quickshifters. Cordona Quickshifters [online]. 2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.cordona.net/products/batwing-shiftlight-35687046>
- [15] Princip rychlořazení. Shifting ContRoll [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.qs.vyrobce.cz/princip.html>
- [16] Časté dotazy QS. Shifting ContRoll [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.qs.vyrobce.cz/faq.html>
- [17] BOROVIČKA, M. Optimalizace datových polí regulačního systému spalovacího motoru s nízkým momentem setrvačnosti. Brno, 2016, 66 s. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.
- [18] Superbike World Championship: SuperStock 600. 2012. Dostupné také z: [https://www.automotodrombrno.cz/upload/akce/startovky,vysledky/SBK/Sobota/09\\_05\\_17\\_01\\_CLA\\_Results.pdf](https://www.automotodrombrno.cz/upload/akce/startovky,vysledky/SBK/Sobota/09_05_17_01_CLA_Results.pdf)
- [19] Automotodrom Brno | 08-10 červen. In: Ondřej Ježek - Oficiální stránky [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.ondrejjezek.com/wp-content/uploads/2018/02/V%C3%BDst%C5%99i%C5%BEek.png>
- [20] OtoMoto team jedzie bronić prowadzenia!. In: Blog motoryzacyjny OTOMOTO.pl [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://blog.otomoto.pl/wp-content/uploads/2013/05/Tor-Autodrom-Brno.png>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

DOHC	Double Over Head Camshaft	Dvě vačkové hřídele v hlavě válce
ECU	Electronic Control Unit	Řídící jednotka motoru
GPS	Global Positioning System	Globální polohový systém
LED	Light-Emitting Diode	Elektroluminiscenční dioda
QS	Quick-shifter	Rychlořazení
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
USD	Up-side-down	Obrácená přední vidlice
YCC-i	Yamaha Chip Controlled Intake	Variabilní délka sání
YCC-t	Yamaha Chip Controlled Throttle	Elektronický snímač plynu
YEC	Yamaha Electronics Corporation	Závodní díly Yamaha